

**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ
ФЕДЕРАЦИИ**
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего
образования

«Казанский (Приволжский) федеральный университет»

Институт геологии и нефтегазовых технологий

**УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ПОСОБИЕ
ДЛЯ ВЫПОЛНЕНИЯ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ ПО КУРСУ
«ФИЗИКА ЗЕМЛИ»**

КАЗАНЬ

2020

Печатается по решению учебно-методической комиссии Института геологии и нефтегазовых технологий

Протокол № 5 от 10 марта 2020года

Рецензенты:

Д.И. Хасанов, к.г.-м.н., зав. кафедрой геофизики и геоинформационных технологий Института геологии и нефтегазовых технологий КФУ.

Составитель:

доцент кафедры региональной геологии и пол. ископаемых Ю. П. Балабанов
доцент кафедры геофизики и информационных технологий Б.Г.Червиков

Учебно-методическое пособие для выполнения лабораторных работ по курсу «Физика Земли»/ Сост. Ю.П. Балабанов, Б.Г.Червиков – Казань: Казанский федеральный университет, 2020. – 12с.

Учебно-методическое пособие предназначено для бакалавров направления 05.03.01 Геология. В пособии приводятся необходимые материалы для выполнения лабораторных работ по курсу «Физика Земли».

Казанский (Приволжский) федеральный университет, 2020 г.

Введение

В пособии рассмотрены вопросы практического решения некоторых задач физики Земли, связанных с физическими полями нашей планеты. Показаны методические приемы расчета основных ее параметров, обусловленных внутренним строением Земли и состоянием вещества на разных глубинах относительно земной поверхности. Представлена возможность анализа внутреннего строения планеты на основе современных сейсмических данных. Приведена методика расчета температурного режима верхней оболочки Земли на основе уравнений теплопроводности, а также изменения плотности земной коры с глубиной с учетом различных методических приемов.

Пособие предусматривает освоение следующих компетенций:

- 1) владение навыками практического применения полученных теоретических данных при объяснении явлений, связанных с историей развития Земли и планет Солнечной системы;
- 2) умение правильно ставить геологические задачи, связанные с реконструкцией условий формирования различных месторождений полезных ископаемых и других планетных проблем.

В рамках программы бакалавр осваивает способность использовать знания в области геологии, геофизики, геохимии, гидрогеологии и инженерной геологии, геологии и геохимии горючих ископаемых, экологической геологии для решения научно-исследовательских задач (в соответствии с направленностью (профилем) подготовки) (ПК-1).

Задание 1

Рассчитать температуру на глубине 100 км в области континентальной коры при следующих условиях:

- 1) мощность «гранитного» слоя – $H_{гр} = 15$ км;
- 2) мощность «базальтового» слоя – $H_б = 25$ км;
- 3) мощность подкорового (перидотитового) слоя – $H_п = 60$ км.

Тепловой поток через поверхность Земли $Q_0 = 5,04 \cdot 10^{-2}$ Вт/м². Количество тепла, генерируемое в процессе радиоактивного распада радиоактивных элементов, в породах гранитного слоя составляет $q_{гр} = 8,4 \cdot 10^{-7}$ Вт/м³, базальтового слоя – $q_б = 4,2 \cdot 10^{-7}$ Вт/м³.

Коэффициент теплопроводности пород гранитного слоя $\lambda_{гр} = 2,52$ Вт / (м · К), базальтового слоя $\lambda_б = 2,52$ Вт / (м · К), подкорового (перидотитового) слоя $\lambda_п = 3,36$ Вт / (м · К).

Влиянием чехла осадочных пород следует пренебречь.

Последовательность выполнения задания:

Расчет температур в пределах земной коры до глубин около 100 км, как известно (Магницкий В.А., 1965) производится на основе использования уравнения теплопроводности:

$Q = - \lambda \cdot dT/dZ$, где λ – коэффициент теплопроводности, dT/dZ – температурный градиент. В качестве исходных параметров используем среднюю температуру на поверхности Земли – 20⁰ С (293 К), а также тепловой поток через поверхность Земли $Q_0 = 5,04 \cdot 10^{-2}$ Вт/м².

- 1) Рассчитываем температуру в подошве гранитного слоя, используя уравнение теплопроводности. Для этого подставляем в него известные значения Q_0 и $\lambda_{гр}$ для гранитного слоя. Определяем температурный градиент dT/dZ для гранитного слоя и учитывая мощность этого слоя рассчитываем изменение температуры на глубине 15 км. Затем прибавляем к этому значению значение температуры на поверхности Земли и получаем величину температуры на глубине 15 км.
- 2) Определяем значение теплового потока Q_1 , проходящего через границу гранитного и базальтового слоев. Для этого необходимо сначала рассчитать количество тепла, генерируемого в гранитном слое $Q_{гр}$, а затем вычесть это значение из Q_0 .
Значение $Q_{гр}$ определяем по формуле:

$$Q_{гр} = q_{гр} \cdot H_{гр}$$

- 3) По схеме, аналогичной п.п.1) и 2) производится расчет температур на границе базальтового и перидотитового слоев, а также в подошве перидотитового слоя.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Внутреннее строение и физика Земли / В.А. Магницкий ; Рос. акад. наук, Ин-т физики Земли им. О.Ю. Шмидта, [Науч. совет Progr. фундам. исслед. Президиума РАН "Издание тр. выдающихся ученых"] .— Москва : Наука, 2006 .— 389,[1] с., [1] л. портр. : ил. ; 25 .— (Памятники отечественной науки. XX век / гл. редкол.: акад. Ю.С. Осипов (пред.) [и др]) .— На 7-й с. авт.: В.А. Магницкий д.т.н., проф., акад., проф., чл.-корр. АН СССР .— Библиогр. в конце гл. — Список основных опубл. работ В.А. Магницкого: с. 386-387 .— ISBN 5-02-035352-3 ((в пер.)), 1000.

Контрольные вопросы:

1. Чем определяется тепловой поток Земли?
2. Что такое температурный градиент?
3. Какой смысл имеет уравнение теплопроводности?

Задание 2

Построить карту изомощностей (изопахид) земной коры в масштабе 1 : 5 000 000 на основе карт изоаномал силы тяжести в редукции Буге.

Последовательность выполнения задания:

- 1) перенести на кальку значения Δg по сетке 150 x 200 км в пределах площади 1500 x 2000 км ;
- 2) выполнить скользящее осреднение значений Δg по площади по девяти точкам (3 x 3 точки);
- 3) на основе данных, представленных в таблице 13, построить корреляционную зависимость мощности земной коры от значений Δg в редукции Буге;
- 4) используя полученную зависимость построить карту изомощностей земной коры с сечением изолиний 4 км;
- 5) провести интерпретацию построенной карты изопахид.

Таблица 13

(мгЛ)	-410	-62	-112	-412	-190	-42	-308	-132	-30	-87	-100
М (км)	56	36	49	59	54	34	63	54	45	52	64
-8	0	-400	-48	-364	-8	-90	-24	-380	-83	-61	88
52	34	71	41	65	33	43	42	56	47	33	18

48	297	78	198	244	2	196	150	237	0	47	150
29	6	32	15	6	31	17	9	10	36	42	19
302	-100	0	-199	-160	-70	-120	-25	-8	-5	-300	-50
7	41	34	58	61	52	55	32	33	27	64	43
-51	-3	-60	-8	-90	-93	-24	-30	-67	-100	-90	0
42	41	34	52	43	31	30	42	47	61	51	27
225	200	370	10	128	58	334	302	91	301	199	201
11	10	6	37	30	46	5	7	32	5	8	16
292	368	340	-24	-62	-175	-172	-160	-100	0	-8	-65
6	3	4	34	38	58	68	43	61	33	34	49
-161	-31	-87	-30	-54	-99	0	-147	-61	-18	-8	-57
63	35	54	34	34	54	35	55	30	40	32	36
-68	-100	101	244	300	198	290	46	200	7	11	300
50	61	18	8	15	7	5	42	11	35	33	6
200	102	295	298	-12	-50	-332	-168	-190	-165	-65	-296
13	18	4	7	35	40	57	36	54	47	33	63
-28	-212	-150	-73	-300	-398	-8	-100	-52	-165	-30	-10
43	56	39	63	64	77	34	42	43	47	41	28
-47	-50	-364	233	298	300	353	263	153	152	58	350
48	50	65	12	5	12	6	5	12	20	46	5
11	6	243	200								
33	42	5	19								

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гравиразведка : справочник геофизика / под ред. Е. А. Мудрецовоу .— Москва : Недрa, 1981 .— 397 с. : ил. ; 25 .— Авт. указаны в огл.

Контрольные вопросы:

2. Какие факторы определяют силу тяжести на поверхности Земли?
3. Как рассчитать мощность земной коры по значению потенциала силы тяжести?
4. Чем отличается океаническая земная кора от континентальной?

Задание 3

Физические параметры земных оболочек

Используя таблиц №№ 14 и 15 провести построение кривых изменения всех представленных в них физических параметров земных оболочек. В таблице № 14 даны значения плотности, температуры, давления и ускорения силы тяжести в современной Земле на разных глубинах относительно поверхности Земли. В таблице № 15 представлены значения скоростей продольных и поперечных объемных волн, плотности, ускорения свободного падения и давления. Проинтерпретировать полученные кривые. Выделить границы раздела сред, на которых происходит изменение этих параметров. Провести индексацию в соответствии с общепринятой схемой выделенных в земных глубинах слоев и дать им краткую литологическую характеристику.

Таблица 14

Распределение плотности, температуры, давления и ускорения силы тяжести в современной Земле [Сорохтин, Ушаков, 2002, с. 47]

Глубина, км	Плотность, г/см ³	Температура, К	Давление, кбар	Ускорение силы тяжести, см/с ²
0	2,85	288	0	981
200	3,30	1770	65,5	990
430	3,60	1940	138	997
430	3,82	2010	--	--
600	4,09	2130	218,6	1000
670	4,16	2170	247,2	1001
670	4,37	2110	--	--
800	4,49	2170	305,7	1000
1000	4,61	2260	397,7	996
1200	4,72	2360	491	994
1400	4,83	2450	587,8	993
1600	4,94	2540	686	993
1800	5,04	2640	786,3	995
2200	5,25	2820	994,9	1006
2600	5,45	3010	1216,2	1033
2886	5,60	3130	1384	1067
2886	9,92	--	--	--
3000	10,06	3310	1503	1041
3400	10,60	3880	1909	945
3800	11,06	4400	2287	841
4200	11,43	4870	2628	732
4600	11,72	5280	2926	622
5000	11,97	5620	3175	517
5120	12,04	5710	3242	490
5120	13,00	--	--	--
5400	13,10	5890	3382	386
5800	13,23	6060	3518	227
6000	13,27	6110	3559	155
6200	13,29	6140	3580	68
6371	13,29	6140	3583	0

Таблица 15

Распределение физических параметров в Земле (И.Ю.Бурмин, 2006)

Глубина	Скорость упругих волн		Плотность	уск.св.пад.	давление
z (км)	V_p (км/с)	V_s (км/с)	ρ (г/см ³)	g (м/с ²)	P (Па · 1.E9)
.0000	6.0100	3.4740	2.6000	9.8160	.0000E+00
5.2200	6.0100	3.4735	2.6067	9.8179	.1336E+09
41.1300	6.1000	3.5221	2.6530	9.8500	.1072E+10
41.1300	7.9600	4.5961	2.8000	9.8500	.1072E+10
116.8200	7.9300	4.5694	2.8595	9.9081	.3216E+10
116.8200	8.4500	4.8690	3.2000	9.9081	.3216E+10
132.4200	8.4600	4.8728	3.2124	9.9157	.3713E+10
132.4200	8.2000	4.7230	3.4000	9.9157	.3713E+10
294.5400	8.5000	4.8746	3.5449	9.9672	.9442E+10
294.5400	8.8700	5.0868	3.7000	9.9672	.9442E+10
301.7700	8.8900	5.0972	3.7060	9.9685	.9709E+10
344.9000	9.0300	5.1715	3.7418	9.9761	.1132E+11
412.5900	9.1000	5.2022	3.7965	9.9877	.1389E+11
476.1100	9.6400	5.5016	3.8477	9.9983	.1633E+11
508.0100	9.7900	5.5825	3.8709	10.0037	.1756E+11
519.6600	9.8300	5.6035	3.8792	10.0056	.1802E+11
555.0400	9.9500	5.6666	3.9042	10.0116	.1940E+11
640.0000	9.9500	5.6538	3.9625	10.0263	.2277E+11
640.0000	10.2700	5.8357	4.3652	10.0263	.2277E+11
663.1700	10.3400	5.8718	4.3820	10.0225	.2379E+11
717.6500	10.7000	6.0675	4.4208	10.0136	.2620E+11
742.4100	10.8200	6.1315	4.4375	10.0096	.2730E+11
765.6100	10.9200	6.1844	4.4528	10.0058	.2834E+11
794.1202	11.0100	6.2307	4.4713	10.0011	.2961E+11
797.4800	11.0100	6.2301	4.4735	10.0006	.2976E+11
805.0300	11.0200	6.2346	4.4783	9.9994	.3010E+11
810.3702	11.0300	6.2393	4.4817	9.9985	.3034E+11
877.6400	11.1800	6.3130	4.5243	9.9878	.3338E+11
954.8300	11.4000	6.4241	4.5719	9.9759	.3690E+11
970.0300	11.4300	6.4385	4.5811	9.9737	.3759E+11
973.8102	11.4300	6.4378	4.5834	9.9731	.3777E+11
983.9100	11.4200	6.4305	4.5895	9.9716	.3823E+11
1035.3600	11.4500	6.4387	4.6204	9.9643	.4060E+11
1148.9400	11.6400	6.5261	4.6873	9.9496	.4590E+11
1287.9000	11.8600	6.6253	4.7665	9.9352	.5248E+11
1287.9200	11.5000	6.1242	4.7665	9.9352	.5248E+11
1400.0000	12.0500	6.7118	4.8290	9.9272	.5785E+11
1500.0000	12.2000	6.7778	4.8837	9.9234	.6270E+11
1600.0000	12.3000	6.8157	4.9373	9.9233	.6760E+11
1700.0000	12.4500	6.8810	4.9905	9.9276	.7255E+11
1800.0000	12.6500	6.9735	5.0427	9.9369	.7756E+11
2000.0000	12.8000	7.0201	5.1412	9.9736	.8782E+11
2100.0000	12.9500	7.0842	5.1918	10.0028	.9301E+11
2200.0000	13.0500	7.1208	5.2416	10.0402	.9827E+11
2300.0000	13.1500	7.1571	5.2911	10.0871	.1036E+12

Таблица 15 (продолжение)

z	V_p	V_s	ρ	g	P
2400.0000	13.2500	7.1933	5.3403	10.1445	.1090E+12
2500.0000	13.3500	7.2292	5.3894	10.2139	.1145E+12
2600.0000	13.5000	7.2920	5.4384	10.2967	.1201E+12
2700.0000	13.6000	7.3276	5.4869	10.3948	.1258E+12
2750.0000	13.6200	7.3291	5.5116	10.4501	.1287E+12
2780.0000	13.6500	7.3398	5.5266	10.4854	.1305E+12
2800.0000	13.6400	7.3307	5.5367	10.5099	.1316E+12
2830.0000	13.6000	7.2000	5.5518	10.5481	.1334E+12
2860.0000	13.5600	7.1000	5.5668	10.5881	.1351E+12
2893.0000	13.5000	6.9000	5.5833	10.6343	.1371E+12
2893.0000	8.1000	.0000	9.8981	10.6343	.1371E+12
2913.0010	8.2370	.0000	9.9298	10.5905	.1392E+12
2932.8860	8.2730	.0000	9.9602	10.5466	.1413E+12
2952.6570	8.3090	.0000	9.9902	10.5026	.1434E+12
2972.3140	8.3430	.0000	10.0197	10.4586	.1454E+12
2991.8570	8.3770	.0000	10.0487	10.4145	.1475E+12
3011.2880	8.4110	.0000	10.0773	10.3705	.1495E+12
3030.6090	8.4440	.0000	10.1055	10.3264	.1515E+12
3049.8180	8.4760	.0000	10.1333	10.2822	.1535E+12
3068.9150	8.5070	.0000	10.1606	10.2381	.1555E+12
3087.9030	8.5380	.0000	10.1875	10.1939	.1575E+12
3106.7830	8.5690	.0000	10.2141	10.1498	.1594E+12
3125.5540	8.5980	.0000	10.2402	10.1057	.1614E+12
3144.2160	8.6270	.0000	10.2660	10.0615	.1633E+12
3162.7720	8.6560	.0000	10.2914	10.0174	.1652E+12
3181.2210	8.6830	.0000	10.3164	9.9733	.1671E+12
3199.5630	8.7110	.0000	10.3411	9.9293	.1690E+12
3217.8000	8.7370	.0000	10.3655	9.8852	.1709E+12
3235.9320	8.7630	.0000	10.3895	9.8412	.1727E+12
3253.9610	8.7890	.0000	10.4132	9.7972	.1746E+12
3271.8850	8.8130	.0000	10.4365	9.7533	.1764E+12
3289.7060	8.8380	.0000	10.4596	9.7095	.1782E+12
3307.4240	8.8610	.0000	10.4823	9.6656	.1800E+12
3325.0420	8.8840	.0000	10.5047	9.6219	.1818E+12
3342.5570	8.9070	.0000	10.5268	9.5782	.1835E+12
3359.9730	8.9120	.0000	10.5486	9.5345	.1853E+12
3377.2870	8.9290	.0000	10.5703	9.4910	.1870E+12
3394.5030	8.9310	.0000	10.5916	9.4475	.1888E+12
3411.6190	8.9430	.0000	10.6128	9.4040	.1905E+12
3428.6370	8.9550	.0000	10.6337	9.3607	.1922E+12
3445.5570	8.9650	.0000	10.6544	9.3174	.1938E+12
3462.3790	8.9750	.0000	10.6749	9.2742	.1955E+12
3479.1050	8.9850	.0000	10.6952	9.2311	.1971E+12
3495.7350	8.9960	.0000	10.7152	9.1880	.1988E+12
3512.2680	9.0070	.0000	10.7351	9.1451	.2004E+12

Таблица 15 (продолжение)

z	V_p	V_s	ρ	g	P
3528.7080	9.0200	.0000	10.7547	9.1022	.2020E+12
3545.0520	9.0360	.0000	10.7740	9.0594	.2036E+12
3561.3020	9.0520	.0000	10.7932	9.0168	.2052E+12
3577.4600	9.0680	.0000	10.8121	8.9742	.2068E+12
3593.5240	9.0830	.0000	10.8308	8.9317	.2083E+12
3609.4950	9.0970	.0000	10.8492	8.8893	.2099E+12
3625.3750	9.1110	.0000	10.8675	8.8470	.2114E+12
3641.1630	9.1240	.0000	10.8855	8.8048	.2129E+12
3656.8610	9.1370	.0000	10.9033	8.7628	.2144E+12
3672.4690	9.1500	.0000	10.9209	8.7208	.2159E+12
3687.9860	9.1620	.0000	10.9383	8.6789	.2174E+12
3703.4140	9.1740	.0000	10.9555	8.6372	.2188E+12
3718.7550	9.1860	.0000	10.9725	8.5956	.2203E+12
3734.0060	9.1980	.0000	10.9893	8.5540	.2217E+12
3749.1710	9.2100	.0000	11.0059	8.5126	.2231E+12
3764.2460	9.2220	.0000	11.0223	8.4714	.2245E+12
3779.2360	9.2340	.0000	11.0385	8.4302	.2259E+12
3794.1410	9.2460	.0000	11.0545	8.3892	.2273E+12
3808.9590	9.2580	.0000	11.0704	8.3482	.2287E+12
3823.6920	9.2700	.0000	11.0860	8.3075	.2300E+12
3838.3390	9.2820	.0000	11.1015	8.2668	.2314E+12
3852.9030	9.2940	.0000	11.1168	8.2263	.2327E+12
3867.3850	9.3060	.0000	11.1319	8.1858	.2340E+12
3881.7810	9.3180	.0000	11.1468	8.1456	.2353E+12
3896.0950	9.3300	.0000	11.1615	8.1054	.2366E+12
3910.3270	9.3420	.0000	11.1761	8.0654	.2379E+12
3924.4760	9.3540	.0000	11.1905	8.0255	.2392E+12
3938.5460	9.3840	.0000	11.2047	7.9858	.2404E+12
4014.6510	9.4300	.0000	11.2758	7.7693	.2471E+12
4034.6510	9.4570	.5720	11.2950	7.7121	.2488E+12
4054.4810	9.4840	.8092	11.3140	7.6551	.2506E+12
4074.1420	9.5190	1.0474	11.3327	7.5985	.2523E+12
4093.6380	9.5330	1.1135	11.3511	7.5421	.2539E+12
4112.9670	9.5560	1.2295	11.3692	7.4861	.2556E+12
4132.1320	9.5780	1.3301	11.3871	7.4304	.2572E+12
4151.1350	9.5990	1.4188	11.4046	7.3751	.2588E+12
4169.9770	9.6190	1.4975	11.4220	7.3200	.2604E+12
4188.6620	9.6370	1.5631	11.4390	7.2653	.2619E+12
4207.1820	9.6550	1.6261	11.4558	7.2109	.2635E+12
4225.5490	9.6720	1.6825	11.4723	7.1569	.2650E+12
4243.7590	9.6880	1.7330	11.4886	7.1031	.2664E+12
4258.5400	9.7000	1.7688	11.5018	7.0594	.2676E+12
4278.5400	9.7270	1.8587	11.5194	7.0001	.2693E+12
4298.3510	9.7620	1.9746	11.5367	6.9413	.2708E+12
4317.9740	9.7770	2.0126	11.5536	6.8828	.2724E+12

Таблица 15 (окончание)

z	V_p	V_s	ρ	g	P
4337.4110	9.7990	2.0749	11.5703	6.8248	.2739E+12
4356.6640	9.8210	2.1356	11.5867	6.7672	.2755E+12
4375.7370	9.8410	2.1879	11.6029	6.7100	.2769E+12
4394.6260	9.8600	2.2358	11.6187	6.6532	.2784E+12
4413.3390	9.8780	2.2795	11.6343	6.5969	.2798E+12
4431.8720	9.8940	2.3161	11.6496	6.5409	.2812E+12
4450.2330	9.9100	2.3522	11.6646	6.4854	.2826E+12
4468.4160	9.9240	2.3816	11.6793	6.4303	.2840E+12
4486.4290	9.9370	2.4076	11.6938	6.3756	.2853E+12
4504.2710	9.9590	2.4609	11.7081	6.3214	.2867E+12
4522.6600	9.9700	2.4796	11.7226	6.2653	.2880E+12
4542.6600	9.9930	2.5325	11.7382	6.2043	.2895E+12
4562.4460	10.0240	2.6077	11.7535	6.1438	.2909E+12
4579.7300	10.0500	2.6686	11.7668	6.0909	.2921E+12
4599.7300	10.0910	2.7675	11.7820	6.0295	.2936E+12
4619.5090	10.1300	2.8581	11.7969	5.9687	.2950E+12
4639.0620	10.1670	2.9410	11.8114	5.9086	.2963E+12
4658.4020	10.1820	2.9658	11.8257	5.8489	.2977E+12
4677.5240	10.2250	3.0614	11.8396	5.7899	.2990E+12
4696.4300	10.2560	3.1250	11.8532	5.7315	.3002E+12
4715.1290	10.2850	3.1828	11.8666	5.6736	.3015E+12
4733.6150	10.3120	3.2350	11.8797	5.6163	.3027E+12
4751.8990	10.3370	3.2818	11.8925	5.5596	.3039E+12
4769.9750	10.3600	3.3234	11.9050	5.5035	.3051E+12
4777.9620	10.3700	3.3413	11.9105	5.4787	.3057E+12
4797.9620	10.4120	3.4245	11.9241	5.4165	.3069E+12
4817.7110	10.4510	3.4994	11.9374	5.3550	.3082E+12
4837.2120	10.4880	3.5686	11.9504	5.2943	.3094E+12
4856.4680	10.5220	3.6304	11.9630	5.2343	.3106E+12
4867.1720	10.5400	3.6623	11.9701	5.2009	.3113E+12
4887.1720	10.5920	3.7604	11.9829	5.1385	.3125E+12
4906.9060	10.6410	3.8502	11.9955	5.0769	.3137E+12
4923.6400	10.6800	3.9199	12.0060	5.0246	.3148E+12
4943.6400	10.7430	4.0346	12.0184	4.9621	.3160E+12
4963.3650	10.8020	4.1391	12.0305	4.9005	.3171E+12
4983.6400	10.8600	4.2393	12.0427	4.8372	.3183E+12
5000.0000	9.7000	.0000	12.0525	4.7861	.3192E+12
5197.3220	10.1500	.0000	12.1304	4.1754	.3292E+12
5197.3220	10.6400	3.3250	12.6700	4.1754	.3292E+12
5212.6120	10.6500	3.3281	12.6779	4.1218	.3300E+12
5357.3300	10.9100	3.4094	12.7295	3.6108	.3367E+12
5393.2520	10.9600	3.4250	12.7439	3.4832	.3383E+12
5456.2120	11.0300	3.4469	12.7658	3.2584	.3409E+12
5505.6800	11.0800	3.4625	12.7823	3.0809	.3428E+12
5925.5600	11.1200	3.4750	12.8029	1.5458	.3512E+12
6371.0300	11.2000	3.5000	12.8004	.0000	.3512E+12

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Теория развития Земли : происхождение, эволюция и трагическое будущее / О. Г. Сорохтин, Д. В. Чилингар, Н. О. Сорохтин ; Рос. акад. наук, Рос. акад. естеств. наук. — Москва ; Ижевск : Институт компьютерных исследований : Регулярная и хаотичная динамика, 2010. — 751 с. : ил., цв. ил. ; 25. — (Серия "Науки о Земле"). — Библиогр.: с. 722-751 (557 назв.). — ISBN 978-5-93972-768-6 ((в пер.)).

Бурмин И.Ю. Распределение плотности и упругих параметров в Земле. Физика Земли, №7, 2006, с. 76 – 88.

Контрольные вопросы:

1. Как изменяются упругие параметры на границах раздела оболочек Земли?
2. Почему через внешнюю оболочку земного ядра не проходят поперечные сейсмические волны?
3. Назовите возможности выделения астеносферного слоя.
4. На какой глубине расположена граница Мохо и какие оболочки Земли она разделяет?
5. Какие оболочки Земли разделяет граница Конрада?

Задание 4.

Расчет основных параметров Земли

Рассчитать величины сжатия (ϵ), массы (M), средней плотности (σ) и момента инерции (J) Земли исходя из известных по геодезическим измерениям экваториального ($a = 6\,378,1$ км) и полярного ($b = 6\,356,8$ км) радиусов, а также известного по гравиметрическим измерениям распределения нормальной силы тяжести на поверхности Земли (формула Гельмерта):

$$\gamma_0 = 978,030 (1 + 0,005302 \cdot \sin^2 \varphi - 0,000007 \cdot \sin^2 2\varphi).$$

При решении задачи необходимо принять фигуру Земли за нормальный сфероид Клеро: $r = a (1 - \alpha_0 \cdot \sin^2 \varphi)$, у которого $g = g_e (1 + \beta \cdot \sin^2 \varphi)$, где g_e - экваториальное ускорение силы тяжести ($9,7803267715$ м/с²), $\beta = 5/2 q - \alpha$, где $q = \omega^2 \cdot a / g_e$, ω - угловая скорость вращения Земли ($465,1$ м/с), $\alpha_0 = 3/2 [(C - A) / M \cdot a^2] + 1/2 \omega^2 a^2 / GM$, а C и A - полярный ($8,068 \cdot 10^{44}$ г · см²) и экваториальный ($8,042 \cdot 10^{44}$ г · см²) моменты инерции.

$G = 6,672 \cdot 10^{-11}$ м³ / с² · кг - гравитационная постоянная.

Средний момент инерции - $J = 1/3 (2A + C)$.

Средний радиус Земли - $R_E = 6\,371,01$ км.

$$\text{Масса Земли} - M = g \cdot R_E^2 / G$$

$$\text{Средняя плотность Земли} - \sigma = 3M / 4\pi \cdot R_E^3.$$

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Внутреннее строение и физика Земли / В.А. Магницкий ; Рос. акад. наук, Ин-т физики Земли им. О.Ю. Шмидта, [Науч. совет Progr. фундам. исслед. Президиума РАН "Издание тр. выдающихся ученых"] .— Москва : Наука, 2006 .— 389,[1] с., [1] л. портр. : ил. ; 25 .— (Памятники отечественной науки. XX век / гл. редкол.: акад. Ю.С. Осипов (пред.) [и др]) .— На 7-й с. авт.: В.А. Магницкий д.т.н., проф., акад., проф., чл.-корр. АН СССР .— Библиогр. в конце гл. — Список основных опубл. работ В.А. Магницкого: с. 386-387 .— ISBN 5-02-035352-3 ((в пер.)) , 1000.

Контрольные вопросы:

1. Почему полярный и экваториальный радиусы Земли различаются между собой?
2. Как изменяется с глубиной значение плотности?
3. Что определяет у Земли значение ее среднего момента инерции?

Задание 5 (А.Н.Дмитриев, 2004).

Рассчитать плотность (σ) внутри Земли для фиксированных глубин по формуле

Роша:

$$\sigma = 11,35 (1 - 1,07 \cdot r_i^2), \text{ где } r_i = 1 - r' / R_3$$

вар-т:	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$r', \text{ км}$	300	350	400	450	500	550	600	650	700	750
	800	850	900	950	1000	1050	1100	1150	1200	1250
	1300	1350	1400	1450	1500	1550	1600	1650	1700	1750
	2300	2350	2400	2450	2500	2550	2600	2650	2700	2750
	2800	2850	2900	2950	3000	3050	3100	3150	3200	3250
	3300	3350	3400	3450	3500	3550	3600	3650	3700	3750
	3800	3850	3900	3950	4000	4050	4100	4150	4200	4250
	4300	4350	4400	4450	4500	4550	4600	4650	4700	4750
	4800	4850	4900	4950	5000	5050	5100	5150	5200	5250

по формуле Лежандра: $\sigma = 4,483 \cdot \{ \sin(2,531 \cdot r_i) / r_i \}$

где $r_i = 1 - \Delta h_i / R_3$

если r_i - относительное удаление от центра Земли;

Δh_i – толщины слоев сейсмической модели земной коры. Даны в км.

Вар-т:	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Δh_1	3	3,1	3,2	3,3	3,4	3,5	3,6	3,7	3,8	3,9
Δh_2	6,1	6,1	6,1	6,1	6,1	6,1	6,1	6,1	6,1	6,1
Δh_3	6,3	6,3	6,3	6,3	6,3	6,3	6,3	6,3	6,3	6,3
Δh_4	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9
Δh_5	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
Δh_6	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7

и по формуле Гельмерта:

$$\sigma = 11,75 (1 - 1,04 \cdot r_i^2 + 0,275 \cdot r_i^4), \text{ где } r_i = 1 - r' / R_3$$

вар-т:	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$r', \text{ км}$	5	55	105	155	205	255	305	355	405	455
	10	60	110	160	210	260	310	360	410	460
	15	65	115	165	215	265	315	365	415	465
	20	70	120	170	220	270	320	370	420	470
	25	75	125	175	225	275	325	375	425	475
	30	80	130	180	230	280	330	380	430	480
	35	85	135	185	235	285	335	385	435	485
	40	90	140	190	240	290	340	390	440	490
	45	95	145	195	245	295	345	395	445	495
	50	100	150	200	250	300	350	400	450	500

R_3 – радиус Земли.

Полученные результаты необходимо представить в виде совместных графиков, где по оси абсцисс откладывается расстояние, по оси ординат – рассчитанные значения плотности. Дать анализ расхождению (в %) значений плотности в интервалах пересекающихся (или близких к этому) расстояний r' .

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Теория развития Земли : происхождение, эволюция и трагическое будущее / О. Г. Сорохтин, Д. В. Чилингар, Н. О. Сорохтин ; Рос. акад. наук, Рос. акад. естеств. наук .— Москва ; Ижевск : Институт компьютерных исследований : Регулярная и хаотичная динамика, 2010 .— 751 с. : ил., цв. ил. ; 25 .— (Серия

"Науки о Земле") .— Библиогр.: с. 722-751 (557 назв.) .— ISBN 978-5-93972-768-6 ((в пер.))

2. Дмитриев А.Н. Методические указания к лабораторным занятиям по дисциплине «Физика Земли» для ст - тов специальности 071900. Тюмень, ТГНУ, 2004, с.27.

Контрольные вопросы:

1. Чем обусловлено расхождение значений плотности в интервалах пересекающихся или близких к этому расстояний r , полученных разными методами расчета?
2. Объяснить изменение значений плотности с глубиной.